

Исследование работы и формирование состава уборочно-транспортного комплекса из зерноуборочных комбайнов зарубежного производства

Григорий Александрович Иовлев,
кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;

Анатолий Георгиевич Несговоров,
старший преподаватель кафедры,
e-mail: ag.nesgovorov@gmail.com;
Ирина Игоревна Голдина,
старший преподаватель кафедры,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. Показали, что главное условие оценки уборочно-транспортного комплекса – снижение издержек при уборке и транспортировке урожая зерновых. (*Цель исследования*) Оценить технико-экономические показатели и эксплуатационные свойства зарубежных зерноуборочных комбайнов и их влияние на производительность всего уборочно-транспортного комплекса. На основании статистических данных, полученных во время сбора информации, рассчитать показатели, которые влияют на управление работой уборочно-транспортного комплекса. (*Материалы и методы*) Использовали статистические материалы по работе зерноуборочных комбайнов, транспортных средств на отвозке. Учитывали технические характеристики зерноуборочных комбайнов и транспортных средств. Рассмотрели элементы теории вероятностей для формирования состава уборочно-транспортного комплекса. Исследования провели одновременно в двух структурных подразделениях сельскохозяйственной организации, находящихся друг от друга на расстоянии 19-20 километров. Применяли методы: экономико-статистический, прогнозирования, экономико-математического моделирования, экспертных оценок и другие. (*Результаты и обсуждение*) Получили 89 значений по показателю «Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна», 45 – по критерию «Время ожидания загрузки транспортным средством». Рассчитали математическое ожидание первого показателя: в первом уборочном отряде для *Tiscano 450* – 22,68 минуты; *Mega 370* – 20,74 минуты; для *Tiscano 450* из второго уборочного отряда – 19,24 минуты. (*Выводы*) Выявили особенности формирования уборочно-транспортных комплексов, состоящих из зарубежных зерноуборочных комбайнов и транспортных средств. Определили производительность, качественные показатели технологического процесса обмолота зерновых культур и урожайность, при которых использование зарубежных зерноуборочных комбайнов становится экономически целесообразным.

Ключевые слова: уборка зерновых, уборочно-транспортный комплекс, время заполнения бункера, математическое ожидание.

Для цитирования: Иовлев Г.А., Несговоров А.Г., Голдина И.И. Исследование работы и формирование состава уборочно-транспортного комплекса из зерноуборочных комбайнов зарубежного производства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №4. С. 49-56. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-49-56.

Operation Research and Formation of the Harvesting Transport Complex of the Grain Harvesters of Foreign Production

Grigory A. Iovlev,
Ph.D.(Eng), associate professor, head of the department,
e-mail: gri-iovlev@yandex.ru;
Anatoliy G. Nesgovorov,
senior lecturer of the department,
e-mail: ag.nesgovorov@gmail.com;

Irina I. Goldina,
senior lecturer of the department,
e-mail: ir.goldina@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ural State Agrarian University”, Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The authors showed that the main condition for assessing the harvesting transport complex is to reduce costs during harvesting and transportation of grain crops. (*Research purpose*) To assess the technical and economic indicators and operational

properties of foreign grain harvesters and their impact on the productivity of the entire harvesting transport complex. Based on the statistical data obtained during the information collection, to calculate the indicators that affect the harvesting transport complex management. (*Materials and methods*) The authors used statistical materials on the combine harvesters operation, transport vehicles for transportation. They took studied combine harvesters and vehicles technical characteristics. They considered the elements of the theory of probability for the formation of the harvesting transport complex. The studies were carried out simultaneously in two structural divisions of an agricultural organization, located at a distance of 19-20 kilometers from each other. Economic and statistical, forecasting, economic and mathematical modeling, expert assessments and others methods were used. (*Results and discussion*) The authors received 89 values for the indicator "Time to fill the combine harvester bunker", 45 – according to the criterion "Waiting time for vehicle loading". They calculated the mathematical expectation of the first indicator: in the first harvesting team for the Tucano 450 – 22.68 minutes; Mega 370 – 20.74 minutes; for a Tucano 450 from the second harvesting team – 19.24 minutes. (*Conclusions*) The authors revealed the features of harvesting transport complexes formation, consisting of foreign combine harvesters and vehicles. They determined the productivity, quality indicators of the technological process of threshing grain crops and yield, at which the use of foreign combine harvesters became economically feasible.

Keywords: grain harvesting, harvesting transport complex, bunker filling time, mathematical expectation.

For citation: Iovlev G.A., Nesgovorov A.G., Goldina I.I. Issledovanie raboty i formirovanie sostava uborочно-transportnogo kompleksa iz zernouborochnykh kombaynov zarubezhnogo proizvodstva [Operation research and formation of the harvesting transport complex of the grain harvesters of foreign production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 49-56 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-49-56.

Оптимизация работы уборочных и уборочно-транспортных комплексов (УТК) остается актуальной темой исследований. Снижение издержек на этом этапе производства зерновых должно стать главным условием оценки УТК независимо от того, какая техника в них задействована – отечественная или импортная.

Цель исследования – оценить технико-экономические показатели и эксплуатационные свойства зарубежных зерноуборочных комбайнов, влияющие на производительность всего УТК, а также на основании статистических данных, полученных во время сбора информации, рассчитать показатели, на основании которых можно управлять работой УТК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для сравнения эксплуатационных свойств зарубежных зерноуборочных комбайнов рассмотрим основные технические характеристики (табл. 1) [1, 2].

Зерноуборочные комбайны примерно одного класса, но показатели Тусано 450 немного лучше, чем Мегэ 370: по площади системы сепарации – на 0,9%, по объему зернового бункера – на 9,8%, по мощности двигателя – на 7,2%. Модель *Tucano 450* – это улучшенный, более современный вариант *Mega 370*. Технико-экономические показатели зарубежных комбайнов позволяют более качественно выполнять технологический процесс уборки зерновых культур [3].

Для расчетов по оптимизации работы УТК следует учитывать продолжительность:

- заполнения бункера;
- ожидания транспортного средства для разгрузки зерноуборочных комбайнов;
- ожидания загрузки;
- движения транспортного средства до следующего комбайна;

- разгрузки бункера.

Для получения данных показателей провели исследования в сентябре 2020 г. в одной из сельхозорганизаций Свердловской области. Предприятие поддерживает высокую культуру земледелия, имеет мощную материально-техническую базу, развитое животноводство, производительность труда выше средней по области. Для снятия показателей разработали формы, при хронометрировании учитывали начало и окончание технологической операции. Результат заносили в бумажный носитель. Всего провели 178 замеров и получили 89 показателей для исследования работы 6 зерноуборочных комбайнов (первый убо-

Таблица 1 Table 1
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ
COMBINE HARVESTERS TECHNICAL CHARACTERISTICS

Показатели Indicators	Tucano 450	Mega 370
Ширина барабана, мм Reel width, mm	1580	1580
Диаметр барабана, мм Reel diameter, mm	450	450
Угол охвата подбарабана, град. Concave coverage angle, deg.	151	151
Длина соломотряса, м Straw walker length, m	4,4	4,4
Площадь соломотряса, м ² Straw walker area, m ²	7,0	7,0
Площадь системы сепарации, м ² Separation system area, m ²	8,75	8,67
Объем зернового бункера, л Grain bunker volume, l	9000	8200
Мощность двигателя, кВт/л.с. Engine power, kW/h.p.	220/299	205/279
Масса, кг Weight, kg	12 750	11 800

рочный отряд – два *Tiscano 450*, один *Mega 370*, второй уборочный отряд – три *Tiscano 450*).

Время заполнения бункера – случайная величина при большом числе замеров. Поэтому для инженерных расчетов используют неслучайную величину, то есть математическое ожидание:

$$M(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + \dots + x_n p_n, \quad (1)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – возможные значения времени заполнения бункера, мин;

$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – вероятность появления случайной величины при большом количестве замеров.

Математическое ожидание для отряда № 1 в варианте с зерноуборочными комбайнами *Tiscano 450* равно:

$$M(X) = 18 \cdot 0,20 + 20 \cdot 0,25 + 22 \cdot 0,17 + 24 \cdot 0,05 + 26 \cdot 0,14 + 28 \cdot 0,05 + 30 \cdot 0,08 + 34 \cdot 0,05 = 3,6 + 5 + 3,74 + 1,2 + 3,64 + 1,4 + 2,4 + 1,7 = 22,68 \text{ мин},$$

а для зерноуборочного комбайна *Mega 370* составляет:

$$M(X) = 18 \cdot 0,41 + 20 \cdot 0,35 + 22 \cdot 0,06 + 24 \cdot 0,06 + 28 \cdot 0,06 + 32 \cdot 0,06 = 7,38 + 7 + 1,32 + 1,44 + 1,68 + 1,92 = 20,74 \text{ мин}.$$

Вычислим этот показатель для отряда № 2, где работали только *Tiscano 450*:

$$M(X) = 12 \cdot 0,05 + 14 \cdot 0,12 + 16 \cdot 0,12 + 18 \cdot 0,17 + 20 \cdot 0,24 + 22 \cdot 0,21 + 26 \cdot 0,02 + 28 \cdot 0,05 + 32 \cdot 0,02 = 0,6 + 1,68 + 1,92 + 3,06 + 4,8 + 4,62 + 0,52 + 1,4 + 0,64 = 19,24 \text{ мин}.$$

Полученные данные примем для дальнейших расчетов по оптимизации работы УТК.

Для наглядности расчетов математического ожидания по показателю «время заполнения бункера» представим в виде графиков (рис. 1). По оси абсцисс отложим возможные значения времени заполнения бункера, по оси ординат – появление случайной величины в общем количестве замеров.

На примере работы зерноуборочных комбайнов *Tiscano 450* из первого уборочного отряда рассчитаем дисперсию:

$$D(X) = (x_1 - m)^2 p_1 + (x_2 - m)^2 p_2 + (x_3 - m)^2 p_3 + \dots + (x_n - m)^2 p_n, \quad (2)$$

где $m = M(X)$ – математическое ожидание, мин.

То есть:

$$D(X) = (18 - 22,68)^2 \cdot 0,2 + (20 - 22,68)^2 \cdot 0,25 + (22 - 22,68)^2 \cdot 0,17 + (24 - 22,68)^2 \cdot 0,05 + (26 - 22,68)^2 \cdot 0,14 + (28 - 22,68)^2 \cdot 0,05 + (30 - 22,68)^2 \cdot 0,08 + (34 - 22,68)^2 \cdot 0,05 = 4,38 + 1,8 + 0,08 + 0,09 + 1,54 + 1,41 + 4,29 + 6,41 = 20 \text{ мин}^2.$$

Среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{20} = 4,47 \text{ мин}.$$

$$\text{Для Mega 370 } D(X) = 14,77 \text{ мин}^2;$$

$$\sigma = \sqrt{14,77} = 3,84 \text{ мин}.$$

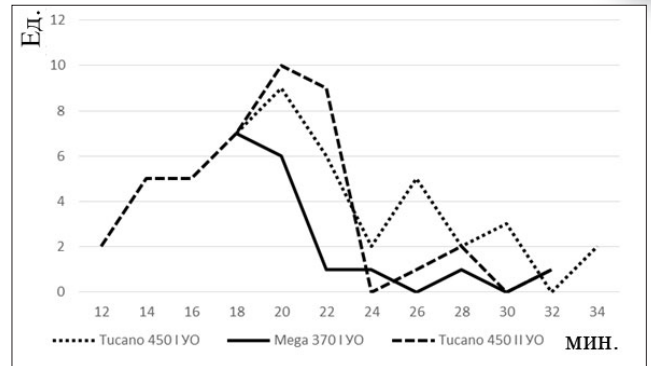


Рис. 1. Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна и количество значений случайной величины (YO – уборочный отряд)

Fig. 1. Combine harvester bunker filling time and the number of values of a random variable (YO – harvesting team)

Для *Tiscano 450* из второго уборочного отряда

$$D(X) = 17,18 \text{ мин}^2; \sigma = \sqrt{17,18} = 4,14 \text{ мин}.$$

В диапазоне $M(X) \pm \sigma$ находится: у зерноуборочного комбайна *Tiscano 450* из первого уборочного отряда – 0,80 всего количества событий; у *Mega 370* – 0,88; у *Tiscano 450* из второго уборочного отряда – 0,86. Наполнение бункеров во всех случаях на 80-88% происходит в течение диапазона времени математического ожидания с учетом среднего квадратического отклонения. Это говорит о стабильности данного показателя и о возможности вести дальнейшие расчеты по оптимизации работы УТК.

С точки зрения обеспечения зерноуборочных комбайнов транспортом на основании статистических данных по показателю «время ожидания транспортного средства» можно сделать вывод о том, что уборочные отряды работали практически без остановок, кроме технологических. Так, время ожидания транспортного средства в первом уборочном отряде составило 3,2% от дневного фонда рабочего времени, у второго уборочного отряда – 3,7%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Следующий этап исследований – обоснование возможности оперативной оптимизации работы уборочно-транспортного комплекса [4-11].

Ранее была отмечена актуальность снижения энергетических затрат при уборке и транспортировании к местам хранения сельскохозяйственной продукции [4]. Авторы рассматривают развитие транспортной системы АПК как основу технологической модернизации аграрного производства. Они перечисляют условия для сокращения энергозатрат в растениеводстве:

- эффективное использование сельхозтехники;
- внедрение новых технологий и энергосберегающей техники;
- рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов;
- использование уборочных машин с высокой про-

изводительностью;

- организация проведения полевых работ в соответствии с агротехническими требованиями.

Некоторые ученые указывают на отсутствие четких методических разработок и рекомендаций, сравнительного анализа по расчету оптимального количества комбайнов в основном технологическом звене УТК [5].

Использование информационных технологий, основанных на математическом моделировании, способствует эффективному применению сложной сельхозтехники [6]. Аналогичные задачи были поставлены при изучении функционирования технологических комплексов и систем в производственных процессах АПК, изменения дневной производительности уборочной технологической системы, в ходе математического моделирования по выбору оптимальных транспортных средств и схем взаимодействия уборочно-транспортных машин [12-16].

Мы в своем исследовании по показателю «время заполнения бункера» рассчитали текущую урожайность убираемой культуры (данные для расчетов взяли из инструкции по эксплуатации зерноуборочных комбайнов):

$$u = 10^{-4} \frac{Q_B \rho_3 \lambda_B}{l_p V \beta}, \quad (3)$$

где u – урожайность сельскохозяйственной культуры, т/га;

Q_B – вместимость бункера, м³;

ρ_3 – объемная масса пшеницы, равная 0,785 т/м³;

λ_B – коэффициент заполнения бункера, составляющий 1,1 (с трансформирующейся крышей);

l_p – длина рабочего пути заполнения бункера комбайна, м ($l_p = V t_{зб}$, где V – рабочая скорость зерноуборочного комбайна, равная 7,0 км/ч, $t_{зб}$ – время заполнения бункера, ч);

B – ширина захвата жатки, м;

β – коэффициент использования ширины захвата жатки, $\beta = 0,96$.

Подставив соответствующие значения, получили значения текущей урожайности пшеницы при расчете по показателям работы комбайнов:

- *Tiscano 450* первого уборочного отряда – 4,06 т/га;

- *Mega 370* первого уборочного отряда – 4,01 т/га;

- *Tiscano 450* второго уборочного отряда – 4,82 т/га.

Рассчитаем урожайность в диапазоне времени заполнения бункера от 12 до 34 мин (табл. 2).

Для анализа работы транспортного отряда разработали форму, куда заносили следующие статистические данные, характеризующие работу отряда:

- время ожидания загрузки после возвращения со склада (ожидание загрузки 1-го бункера);
- время ожидания 2-го бункера;
- время ожидания 3-го бункера;
- время транспортного цикла (движение после загрузки до склада и после выгрузки на складе до поля).

Таблица 2

Table 2

ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА И УРОЖАЙНОСТЬ BUNKER FILLING TIME AND PRODUCTIVITY

Время заполнения бункера комбайна, мин Bunker filling time, min	Урожайность, т/га Productivity, t/ha
12	7,71
14	6,62
16	5,77
18	5,14
20	4,63
22	4,20
24	3,85
26	3,56
28	3,30
30	3,08
32	2,89
34	2,70

Транспортный отряд первого уборочного отряда состоит из тракторов: Беларусь 892, *Deutz-Fahr Agrotac 150*, *Deutz-Fahr Agrotac 720*, *Laser 150* с прицепами *PRONAR T663/1*, *LMR-14*, *Zugdeichsel*. Три трактора с прицепами вместимостью два бункера, один трактор с прицепом вместимостью три бункера. В течение рабочего дня работы первого уборочного отряда выполнили 54 замера.

Математическое ожидание по показателю «время ожидания загрузки транспортным средством» составило 13,26 мин. Данный показатель представим в виде графика (рис. 2). По оси абсцисс отложим возможные значения времени ожидания загрузки, по оси ординат – появления случайной величины в общем количестве замеров.

За рабочий день время ожидания загрузки транспортными средствами составило 519 мин (8,65 ч), или 25,4% от дневного фонда рабочего времени транспортного отряда. Практически это время простоя одного транспортного средства в течение дня. Предложения по оптимизации работы транспортных средств представим после теоретического расчета потребного ко-

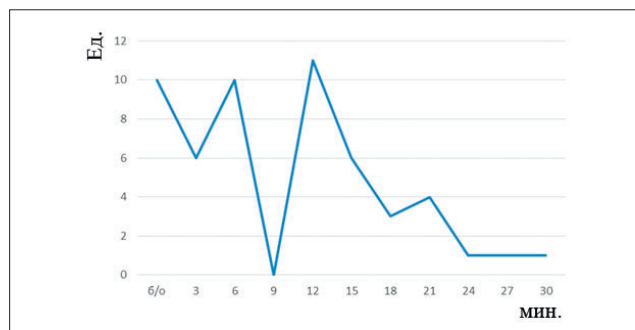


Рис. 2. Время ожидания загрузки четырьмя транспортными средствами

Fig. 2. Waiting time for loading by four vehicles

личества транспортных единиц для организации работы УТК.

После оперативного определения урожайности следует установить количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы уборочного комплекса:

$$n_{\text{тр}}^{\text{изук}} = \frac{C_1 \times T_p}{q_1 \times T_b}, \quad (4)$$

где, $n_{\text{тр}}^{\text{изук}}$ – количество транспортных средств, необходимых для обслуживания одного зерноуборочного комбайна, ед.;

C_1 – масса зерна в бункере зерноуборочного комбайна, т;

T_p – продолжительность транспортного цикла, ч;

q_1 – грузоподъемность транспортного средства, т;

T_b – время заполнения бункера зерном, ч.

Подставим значения:

$$C_1 = V_{p3} = 8,73 \cdot 0,785 = 6,86 \text{ т},$$

где V – объем бункера зерноуборочного комбайна, м³;
 ρ_3 – объемная масса пшеницы 0,785 т/м³.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации зерноуборочных комбайнов *Tiscano 450* и *Mega 370*, вместимость бункера при коэффициенте заполнения 1,1 (с трансформирующейся крышей) составляет 9,0 и 8,2 м³ соответственно. Для расчетов примем значение 8,73 м³.

Тогда

$$n_{\text{тр}}^{\text{изук}} = \frac{6,86 \cdot 0,91}{15,9 \cdot 0,37} = 1,06 \text{ ед.}$$

Расчетная грузоподъемность одного транспортного средства составляет 15,9 т, математическое ожидание времени транспортного цикла – 54,85 мин (0,91 ч). Под временем транспортного цикла мы подразумеваем продолжительность:

- движения транспортного средства после загрузки до зерносклада;
- выгрузки;
- движения до поля или сразу до первого зерноуборочного комбайна.

Для организации работы уборочного комплекса (3 комбайна) необходимо 3,18 ед. транспортных средств. Математическое ожидание показателя «время ожидания загрузки транспортным средством» в этом слу-

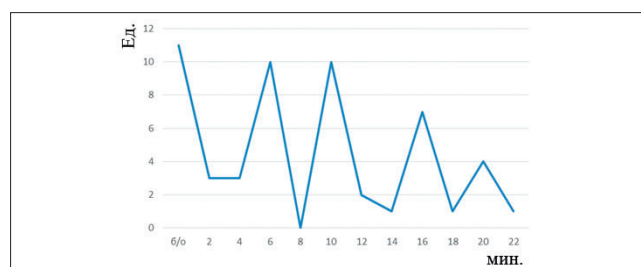


Рис. 3. Время ожидания загрузки тремя транспортными средствами

Fig. 3. Waiting time for loading by three vehicles

Таблица 3		Table 3	
Количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от урожайности		THE NUMBER OF VEHICLES TO ENSURE THE HARVESTING COMPLEX OPTIMAL OPERATION, DEPENDING ON THE PRODUCTIVITY	
Урожайность, т/га	Productivity, t/ha	Количество транспортных средств, ед.	Number of vehicles, units
3,0		2,3	
3,5		2,7	
4,0		3,1	
4,5		3,5	
5,0		3,8	
5,5		4,2	
6,0		4,5	
6,5		4,9	
7,0		5,3	
7,5		5,6	
8,0		6,2	

чае составит 11,41 мин (рис. 3).

В ходе расчетов определили потребность в транспортных средствах для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от урожайности (табл. 3).

В зависимости от расстояния до склада при расчетах используют поправочные коэффициенты:

- до 5 км – 0,77;
- 10 км – 1,00;
- 15 км – 1,30;
- 20 км – 1,59;
- 25 км – 1,85;
- 30 км – 2,00.

От организации работы транспорта на отвозке зерна зависит эффективность работы зерноуборочных комбайнов и всего УТК. Приведем пример расчета по определению транспортных затрат для транспортного агрегата в составе: *Deutz-Fahr Agrottron 720* с прицепом *Zugdeichsel*.

Исходные данные:

- вместимость прицепа – 32 м³;
- собственная масса – 5530 кг;
- грузоподъемность – 20 т.

Часовая производительность транспортного агрегата определяется по формуле [17-19]:

$$W_{\text{ч}} = \frac{Q_n \lambda_{\text{г}}}{t_{\text{об}}}, \quad (5)$$

где Q_n – номинальная грузоподъемность, т;

$\lambda_{\text{г}}$ – коэффициент использования грузоподъемности;

$t_{\text{об}}$ – время транспортного цикла, ч.

Время транспортного цикла равно:

$$t_{\text{об}} = \frac{l_{\text{гп}}}{V_{\text{гп}}} + \frac{l_{\text{хх}}}{V_{\text{хх}}} + t_{\text{пп}}, \quad (6)$$

где $l_{\text{гп}}$, $l_{\text{хх}}$ – пробег с грузом, пробег без груза (холо-

стой или порожний), км;

$V_{ГР}$, $V_{ХХ}$ – скорость транспортного средства с грузом, без груза, км;

$t_{ПР}$ – время ожидания загрузки, ч.

Математическое ожидание показателя «время ожидания загрузки транспортным средством» составило 13,26 мин, или 0,22 ч.

Для определения скорости транспортного средства необходимо найти тяговое сопротивление прицепа с грузом и без него:

$$R_{ПР} = f_{ПП} G_{ПР}, \quad (7)$$

где $f_{ПП}$ – коэффициент сопротивления качению прицепа;

$G_{ПР}$ – вес прицепа, кН.

Для груженого прицепа: $R_{ПР} = 0,04 \cdot 255,8 = 10,2$ кН.

Для порожнего прицепа: $R_{ПР} = 0,04 \cdot 54,2 = 2,2$ кН.

Для трактора *Deutz-Fahr Agrottron 720* с груженым прицепом *Zugdeichsel* подбираем передачу III6, скорость движения 23,5 км/ч; с порожним прицепом – передача III9, скорость движения 39,5 км/ч:

$$t_{ОБ} = (12/23,5) + (12/39,5) + 0,22 =$$

$$= 0,51 + 0,3 + 0,22 = 1,03 \text{ ч,}$$

$$W_{ч} = (20,55/1,03) = 19,95 \text{ т/ч.}$$

Сменная производительность определяется по формуле:

$$W_{СМ} = Q_{НЛГ} n_p,$$

где n_p – количество рейсов за смену.

$$W_{СМ} = 20,55 \cdot 8 = 164,4 \text{ т.}$$

Расход топлива на одну перевезенную тонну зерна равен:

$$g_T = (G_{Т.Р} + G_{Т.П} + G_{Т.ПЕР} + G_{Т.ХД}) / W_{ч}, \quad (8)$$

где $G_{Т.Р} + G_{Т.П} + G_{Т.ПЕР} + G_{Т.ХД}$ – средние часовые расходы топлива в течение смены, кг/ч при выполнении основной (чистой) работы, холостых ходов и во время холостой работы двигателя (во время остановок агрегата с работающим двигателем). Средние часовые расходы топлива принимаются по справочным данным или расчетным путем через удельный расход топлива на 1 эффективную л.с. и степень загрузки двигателя. Коэффициент использования времени смены принимаем равным 0,75.

$$g_T = (15,45 \cdot 0,75 + 8,5 \cdot 0,25) / 19,95 = (11,6 + 2,1) / 19,95 = 0,69 \text{ кг/т.}$$

Для расчета примерной себестоимости 1 т перевезенного зерна используем амортизационные отчисления, приходящиеся на единицу выполненной работы, и стоимость топлива, расходуемого на перевозку 1 т зерна.

При расчете амортизационных отчислений учитываем:

- стоимость трактора *Deutz-Fahr Agrottron 720* – 14 866 000 руб.;

- стоимость прицепа – 3 444 000 руб.;

- норму амортизации – 9,1% (для обеих машин);

- число рабочих дней в году – 248 [20].

Амортизационные отчисления на единицу обрабатываемой площади определим по следующей формуле:

$$A_{ГА} = \frac{(C_{ТР} + C_{К}) N_{ам}}{D_p W_{СМ}}, \quad (9)$$

где $C_{ТР}$, $C_{К}$ – стоимость тракторов и борон соответственно, руб.;

$N_{ам}$ – норма амортизации, %;

D_p – число рабочих дней в году.

$$A_{ГА} = [(14686000 + 3444000) \cdot 9,1] / (248 \cdot 164,4) = 40,47 \text{ руб./т}$$

Стоимость топлива, расходуемого на транспортировку 1 т зерна, определяем по формуле:

$$З_T = g_T C_T = 0,69 \cdot 46,5 = 32,08 \text{ руб./т,} \quad (10)$$

где C_T – стоимость топлива, руб./кг. Для расчетов стоимость топлива взята по состоянию на 01.11.2020 года.

Затраты на оплату труда определяются по формуле:

$$З_{ОТ} = \tau_{час} T_{СМ} = 2007 \cdot 8 = 16\,056 \text{ руб,} \quad (11)$$

где $\tau_{час}$ – часовая тарифная ставка, руб.;

$T_{СМ}$ – продолжительность рабочей смены, ч.

Примерные затраты на перевозку 1 т зерна составляют 170,21 руб. Расходы на дневной объем перевозок одним транспортным средством составляют 27983,22 руб.

Выводы. На основании времени заполнения бункера можно рассчитать урожайность сельскохозяйственной культуры (в нашем случае это пшеница). По расчетному значению математического ожидания урожайность на полях первого уборочного отряда составила 4,03 т/га, во втором уборочном отряде – 48,2 т/га, а фактические данные – 4,13 и 4,96 т/га соответственно (погрешность 2,5 и 2,9%).

По урожайности можно определить необходимое количество транспортных средств для отвозки. При четырех транспортных средствах математическое ожидание по показателю «время ожидания загрузки транспортным средством» составило 13,26 мин, за рабочий день – 519 мин (8,65 ч), или 25,4% от дневного фонда рабочего времени транспортного отряда. Расчетное количество транспортных средств равно 3 ед. Смоделировав их работу, мы смогли на 21,4% сократить время на ожидание загрузки. Расчетное значение затрат на работу одного транспортного средства в течение одного дня составило 27983,22 руб. Эта сумма – ожидаемая примерная экономия от сокращения одного транспортного средства в транспортном отряде. Зная расстояние от поля до склада, можно вносить корректировку по количеству транспортных средств. При площади зерновых в сельхозорганизации около 6000 га и урожайности 4-5 т/га возможное снижение затрат на весь объем уборки составит 1129,8 тыс. руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянков В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 4-8.
2. Демин Е.Е., Старцев А.С., Нестеров Е.С., Бровкова Р.В. Результаты аналитических исследований технических параметров зерноуборочных комбайнов // *Аграрный научный журнал*. 2018. №9. С. 56-60.
3. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Обзор испытаний зерноуборочных комбайнов на качество выполнения технологического процесса обмолота зерновых культур: Россия, Беларусь // *Теория и практика мировой науки*. 2017. №11. С. 56-61.
4. Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Шафоростов В.А. Повышение эффективности уборочно-транспортных работ в агропромышленном комплексе на примере семечковых культур // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2018. №4 (40). С. 148-154.
5. Чеботарев М.И., Шапиро Е.А., Таран А.Д. Расчет гарантирующего количества рисоуборочных комбайнов в основном технологическом звене уборочно-транспортного комплекса // *Рисоводство*. 2018. №4 (41). С. 56-59.
6. Курочкин В.Н. Управление эффективностью уборочно-транспортного процесса согласованием производительностей его фаз с применением цифровой модели // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. №2 (46). С. 29-36.
7. Younus A., Jayan P.R. Performance Evaluation of Root Crop Harvesters. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2015. Vol. 11. Iss. 06. 38-52.
8. Dzhamburshin A.S., Turymbetova G.D. Substantiation of expedient parameters and operating modes of the stripping device for harvesting grain crops in Kazakhstan. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. Iss. 11. 691-698.
9. Das S.C., Panigrahi J.K., Mallik S.K.. Technological innovation and integration of enterprise applications (EA) for achieving operational excellence: an empirical analysis of trends in ERP system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. Iss. 5. 733-741.
10. Iovlev G., Goldina I., Zorkov V. Optimization of the Composition of the Harvesting and Transport Complex. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. Iss. 04. 152-161.
11. Kusumastutia R.D., van Donk D.P., Teunterb R. Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics*. 2016. Vol. 174. 76-92.
12. Астафьев В.Л., Султанов И.И. Обоснование транспортного обеспечения на уборочных работах // *Вестник науки и образования*. 2018. №15-1(51). С. 24-29.
13. Зимин В.К., Фаткин И.С. Функционирование технологических комплексов и систем в производственных процессах в агропромышленных комплексах // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2020. №32(37). С. 40-44.
14. Овчинников Н.И., Косарева А.В., Мошкин Н.И. Динамика изменения дневной производительности уборочной технологической системы с транспортным обеспечением // *Вестник ВСГУТУ*. 2018. №2(69). С. 32-37.
15. Петухов А.С., Алдошин Д.Н. Математическая модель для выбора оптимальных транспортных средств для сельскохозяйственных перевозок // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018. №7-1. С. 22-24.
16. Тихоновский В.В., Блынский Ю.Н., Тихоновская К.В. Взаимодействие уборочно-транспортных машин при использовании большегрузного прицепа-перегрузателя // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2018. Т. 48. №2. С. 63-71.
17. Машков С.В., Казакова Е.С. Методика определения потребности в уборочных машинах // *Вестник СанГУПС*. 2018. №3(41). С. 15-20.
18. Бышов Н.В., Макаров В.А., Макарова О.В., Гаспарян С.В., Шемякин А.В. Эффективность и единство посевных и уборочных комплексов в зерновом подкомплексе // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019. №3(43). С. 136-141.
19. Комаров В.А., Нуянзин Е.А., Курашкин М.И. Исследование влияния сезонной наработки зерно- и кормоуборочных комбайнов на продолжительность уборочных работ // *Техника и оборудование для села*. 2020. №1 (271). С. 36-39.
20. Ряднов А.И. Метод выбора транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020. №1(57). С. 349-356.

REFERENCES

1. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yankov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernouborochnykh kombaynov po funktsional'nyim i konstruktivnym parametram [Methodology for analyzing the technical level of grain harvesters by functional and design parameters]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №2. 4-8 (In Russian).
2. Demin E.E., Startsev A.S., Nesterov E.S., Brovkova R.V. Rezultaty analiticheskikh issledovaniy tekhnicheskikh parametrov zernouborochnykh kombaynov [The results of analytical studies of the technical parameters of grain harvesters]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2018. №9. 56-60 (In Russian).
3. Iovlev G.A., Goldina I.I. Obzor ispytaniy zernouborochnykh kombaynov na kachestvo vypolneniya tekhnologicheskogo protsessa obmolota zernovykh kul'tur: Rossiya, Belarus' [Review of tests of grain harvesters for the quality of the technological process of threshing grain crops: Russia, Belarus]. *Teoriya i praktika mirovoi nauki*. 2017. №11. 56-61 (In Russian).
4. Uspenskiy I.A., Kokorev G.D., Yukhin I.A., Shaforostov V.A. Povyshenie effektivnosti uborochno-transportnykh rabot v agropromyshlennom komplekse na primere semechkovykh kul'tur

[Increasing the efficiency of harvesting and transport operations in the agro-industrial complex on the example of pome crops]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. 2018. N4(40). 148-154 (In Russian).

5. Chebotarev M.I., Shapiro E.A., Taran A.D. Raschet garantiruyushchego kolichstva risouborochnykh kombaynov v osnovnom tekhnologicheskom zvene uborochno-transportnogo kompleksa [Calculation of the guaranteed number of rice harvesters in the main technological link of the harvesting and transport complex]. *Risovodstvo*. 2018. N4(41). 56-59 (In Russian).

6. Kurochkin V.N. Upravlenie effektivnost'yu uborochno-transportnogo protsessa soglasovaniem proizvoditel'nostey ego faz s primeneniem tsifrovoy modeli [Management of the efficiency of the harvesting and transport process by coordinating the productivity of its phases with the use of a digital model]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2019. N2(46). 29-36 (In Russian).

7. Younus A., Jayan P.R. Performance Evaluation of Root Crop Harvesters. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2015. Vol. 11. Iss. 06. 38-52 (In English).

8. Dzhamburshin A.S., Turymbetova G.D. Substantiation of expedient parameters and operating modes of the stripping device for harvesting grain crops in Kazakhstan. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. Iss. 11. 691-698 (In English).

9. Das S.C., Panigrahi J.K., Mallik S.K. Technological innovation and integration of enterprise applications (EA) for achieving operational excellence: an empirical analysis of trends in ERP system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. Iss. 5. 733-741 (In English).

10. Iovlev G., Goldina I., Zorkov V. Optimization of the Composition of the Harvesting and Transport Complex. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. Iss. 04. 152-161 (In English).

11. Kusumastutia R.D., van Donk D.P., Teunter R. Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics*. 2016. Vol. 174. 76-92 (In English).

12. Astaf'ev V.L., Sultanov I.I. Obosnovanie transportnogo obespecheniya na uborochnykh rabotakh [Justification of transport support at harvesting works]. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2018. N15-1(51). 24-29 (In Russian).

13. Zimin V.K., Fatkin I.S. Funktsionirovanie tekhnologicheskikh kompleksov i sistem v proizvodstvennykh protsessakh v agropromyshlennykh kompleksakh [Functioning of technological complexes and systems in production processes in agro-industrial complexes].

Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. 2020. N32(37). 40-44 (In Russian).

14. Ovchinnikov N.I., Kosareva A.V., Moshkin N.I. Dinamika izmeneniya dnevnoy proizvoditel'nosti uborochnoy tekhnologicheskoy sistemy s transportnym obespecheniem [Dynamics of changes in the daily productivity of the harvesting technological system with transport support]. *Vestnik VSGUTU*. 2018. N2(69). 32-37 (In Russian).

15. Petukhov A.S., Aldoshin D.N. Matematicheskaya model' dlya vybora optimal'nykh transportnykh sredstv dlya sel'skokhozyaystvennykh perevozk [A mathematical model for choosing optimal vehicles for agricultural transport]. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018. N7-1. 22-24 (In Russian).

16. Tikhonovskiy V.V., Blynskiy Yu.N., Tikhonovskaya K.V. Vzaimodeistvie uborochno-transportnykh mashin pri ispol'zovanii bol'shegruznogo pritsepa-peregruzhatelya [Interaction of harvesting transport machines when using a heavy-duty loading trailer]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2018. Vol. 48. N2. 63-71 (In Russian).

17. Mashkov S.V., Kazakova E.S. Metodika opredeleniya potrebnosti v uborochnykh mashinakh [Methodology for determining the need for harvesting machines]. *Vestnik SanGUPS*. 2018. N3(41). 15-20 (In Russian).

18. Byshov N.V., Makarov V.A., Makarova O.V., Gasparyan S.V., Shemyakin A.V. Effektivnost' i edinstvo posevnykh i uborochnykh kompleksov v zernovom podkomplekse [Efficiency and unity of sowing and harvesting complexes in the grain sub-complex]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. 2019. N3(43). 136-141 (In Russian).

19. Komarov V.A., Nuyanzin E.A., Kurashkin M.I. Issledovanie vliyaniya sezonnoy narabotki zerno- i kormouborochnykh kombaynov na prodolzhitel'nost' uborochnykh rabot [Research of the influence of seasonal operating time of grain and forage harvesters on the duration of harvesting]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N1(271). 36-39 (In Russian).

20. Ryadnov A.I. Metod vybora transportnykh sredstv pri uborke sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Method of choosing vehicles for harvesting agricultural crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020. N1(57). 349-356 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.10.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 15.10.2020

Статья принята к публикации 25.11.2020
The paper was accepted
for publication on 25.11.2020